

Hybridation des plasmons de surface en régime de couplage fort dans des structures à gain

RÉSUMÉ : Les plasmons de surface sont des modes non-radiatifs qui vivent à l'interface d'un diélectrique et d'un métal. Ils peuvent confiner la lumière à des échelles sub-longueur d'onde. Néanmoins, leur propagation reste limitée par les pertes inhérentes au métal qui entraînent une absorption rapide du mode. L'objet de cette thèse est l'étude du couplage des plasmons de surface dans des structures planes métallo-diélectriques. L'obtention des propriétés des différents modes nécessite le prolongement des solutions dans le plan complexe définissant la constante de propagation. La méthode mise en œuvre consiste à déterminer les pôles de la matrice de diffusion en utilisant les intégrales de Cauchy. Une première solution pour résoudre le problème de propagation des plasmons de surface consiste à coupler ces modes entre eux. Dans un milieu symétrique, lorsque l'épaisseur d'un film métallique devient suffisamment faible, le couplage entre les modes plasmons existants sur chaque surface devient possible. L'un des deux modes couplés ainsi créé, dit plasmon longue portée, a une longueur de propagation supérieure à celle du plasmon de surface usuel tandis que l'autre, dit plasmon à courte portée, se propage moins. Nous présentons une configuration permettant l'excitation du mode longue portée sans le mode courte portée grâce à une couche métallique déposée sur un substrat infiniment conducteur. Cette excitation peut alors être effectuée dans l'air et permettre des applications comme la détection et la caractérisation de molécules. Ensuite, nous présentons le couplage entre deux guides d'ondes diélectriques, et plus particulièrement la théorie des modes couplés, étendue au cas de la polarisation transverse magnétique. Nous considérons aussi le cas de la PT symétrie. La dernière partie de ce mémoire présente la démonstration du régime de couplage fort entre un plasmon de surface et un mode guidé. Nous mettons alors en évidence une augmentation de la longueur de propagation pour le mode hybride plasmon dont le confinement reste celui d'un mode de surface. Un gain linéaire est ensuite ajouté dans les différentes couches de la structure pour en étudier l'effet. L'ajout de gain dans la couche intermédiaire entre les deux modes couplés a pour conséquence l'exaltation de la longueur de propagation des modes et plus particulièrement du mode hybride plasmon qui peut alors se propager au-delà du millimètre.

Mots clés : plasmon de surface, guide d'onde, couplage fort, gain, matrice de diffusion, analyse complexe.

Surface plasmon hybridization in the strong coupling regime in gain structures

ABSTRACT: Surface plasmon polaritons are non radiative modes which exist at the interface between a dielectric and a metal. They can confine light at sub-wavelength scales. However, their propagation is restricted by the intrinsic losses of the metal which imply a rapid absorption of the mode. The aim of this thesis is the study of the coupling of surface plasmons in metallo-dielectric planar structures. Obtaining the properties of the modes implies the extension of the solutions to the complex plane of propagation constants. The method used consists in determining the poles of the scattering matrix by means of Cauchy's integrals. The first solution to solve the problem of propagation of the surface plasmons consists in coupling these modes to one another. In a symmetric medium, when the thickness of the metallic film becomes thin enough, the coupling between the plasmon modes which exist on each side becomes possible. One of the coupled modes which is created, the so-called long range surface plasmon, has a bigger propagation length than the usual plasmon whereas the other coupled mode, named short range surface plasmon, has a smaller propagation length. We present a configuration which allows the excitation of the long range surface plasmon without the short range mode with a metallic layer deposited on a perfect electric conductor substrate. This excitation can be done in air and allows applications, such as the detection and the characterisation of molecules. Then, we present the coupling between dielectric waveguides, and, in particular, the coupled-mode theory in the case of the transverse magnetic polarisation. We consider also the case of PT symmetric structure. The last part of this work presents the demonstration of the strong coupling regime between a surface plasmon and a guided mode. We demonstrate an increase of the propagation length of the hybrid surface plasmon, which still has the confinement of a surface mode. A linear gain is added in the different layers of the structure. When the gain is added in the layer between both coupled modes allows an enhancement of the propagation lengths of the modes, and more precisely of the hybrid surface plasmon mode, which can propagate at the millimeter scale.

Key words: surface plasmon, waveguide, strong coupling, gain, scattering matrix, complex analysis.

Discipline : Physique de la matière condensée

Laboratoire Charles Coulomb, UMR CNRS 5221, département Semiconducteurs, Matériaux et Capteurs, Université Montpellier 2, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier